八仙山不同类型松栎林群落主要特征分析

马闯[1]，杨竟艺[2]，高云昌[3]，龙鸿[1*]，于玮玮[1]
（1 天津农学院 园艺园林学院，天津 300384；2 甘肃农业大学 资源与环境学院，兰州 730070；3 河北省林业科学研究院，石家庄 050061）

摘要：为探究八仙山保护区不同类型森林群落的更新潜力、多样性程度以及稳定性水平，阐明三者间的关系。以保护区内油松林、蒙古栎林和油松—栓皮栎混交林 3 种不同类型天然次生林为对象，调查建群种径级结构和更新潜力，计算不同层次群落多样性，测定 M.Godron 稳定性，并采用主成分法建立评价模型。结果表明：（1）油松种群径级结构近似正态分布，处于成熟期，但幼苗较少；栓皮栎、蒙古栎以及阔叶杂木的幼苗幼树较多，更新潜力较大；（2）松栎混交林的乔木层多样性较高，而灌木层多样性最低，油松林的草本层多样性最低；松栎混交林群落总体物种丰富度最低而均匀度最高；（3）M.Godron 稳定性表明，蒙古栎林距离稳定点较近，而油松林偏离较远；（4）PCA 双序图表明 M.Godron 稳定性与种群更新潜力、Alatalo 均匀度呈较强正相关，综合排序依次为松栎混交林、蒙古栎林和油松林。综上结果表明，建群种更新潜力和物种均匀度对群落稳定性影响较大，林地管理应注重对幼苗幼树的保护。

关键词：松栎混交林，更新潜力，多样性，稳定性，PCA 双序图

中图分类号：Q948.15+4　**文献标识码**：A

Analysis on main community characteristics of different types of pine and oak forests in Baxianshan Nature Reserve

MA Chuang[1]，YANG Jingyi[2]，GAO Yunchang[3]，LONG Hong[1]，YU Weiwei[1]
(1.*College of Horticulture and Landscape*, *Tianjin Agricultural University*, Tianjin 300384, China; 2. *College of Resources and Environmental Sciences*, *Gansu Agricultural University*, Lanzhou, Gansu 7300070, China; 3. *Hebei Academy of Forestry Science*，Shijiazhuang，Shijiazhuang 050061, China;)

Abstract: This study arms to explore the renewal potential, diversity degree and stability level in different types of *Pinus* and *Quercus* forests in Baxianshan Nature Reserve and to clarify their

---

收稿日期：2019-12-30
基金项目：国家自然科学基金青年项目（31600499）；天津农学院科学研究发展基金计划（2014N13）[Supported by the National Natural Science Foundation Youth Program(31600499)；Tianjin Agricultural College Science Research Development Fund Program(2014N13)]
作者信息：马闯（1984-），男，天津宁河人，讲师，博士，主要从事次生林恢复与经营研究，（ E-mail）machuang_tjau@126.com。
通讯作者：龙鸿，教授，博士，主要从事植物学研究，（ E-mail）longhong@tjau.edu.cn。

relationship. Three types of natural secondary forests, including *Pinus tabulaeformis* forest, *Quercus mongolica* forest and mixed forest of *Pinus tabulaeformis* and *Quercus variabilis*, were selected in Baxianshan Nature Reserve. The structure and renewal potential of constructive species were investigated, the diversity of different levels in communities were calculated and the M.Godron index was determined. The principal component analysis was used to develop an evaluation model. The results showed that the DBH class structure of *P. tabulaeformis* population distributed normally, indicating that in the mature stage. Few seedlings of *P. tabulaeformis* were observed. The numerous seedlings and young individuals of *Q. variabilis*, *Q. mongolica* and broad-leaved weed trees presented greater regeneration potential. The diversity in arbor layer of mixed *P. tabulaeformis* – *Q. variabilis* forest was higher than other communities, while that in shrub layer was the lowest. The diversity in herb layer of *P. tabulaeformis* forest was lowest. The overall species richness in the mixed forest *P. tabulaeformis* – *Q. variabilis* is the lowest with the highest evenness. The M.Godron stability indicated that *Q. mongolica* forest was close to the stable point, while *P. tabulaeformis* forest was far away. The PCA biplot showed that M.Godron stability was positively correlated with population regeneration potential and Alatalo evenness index. The comprehensive characteristics of communities was ordered as mixed *P. tabulaeformis* – *Q. variabilis* forest, *Q. mongolica* forest and *P. tabulaeformis* forest. It is concluded that the population regeneration potential of constructive species and species evenness take great influence on community stability, and the seedlings and young individuals of *Quercus* should be protected during the forest management.

Key words: mixed *P. tabulaeformis* – *Q. variabilis* forest; renewal potential; diversity; stability; PCA biplot

群落是在一定地理区域内，生活在同一环境下的不同种群的集合（马克平和刘玉明，1994）。群落稳定性体现了群落外部条件发生变化时系统维持不变的能力（安丽娟等，2007）。以往的研究中，群落中物种的组成结构、多样性常用来直接或间接体现群落的稳定程度（秦娟等，2007；孙越等，2017）。然而，近年来国外学者发现群落的多样性与稳定性间的关系更加复杂，可能存在正相关、不相关和负相关三种情况（Ives & Carpenter，2007）。国内学者也发现，由于演替水平和干扰程度的差异，群落多样性与稳定性变化并不总具有一致性（马洪婧等，2013；宋启亮和董希斌，2014；陆龙龙等，2018）。因此，为进一步探明影响群落稳定的主要因素，有必要对不同群落的物种组成、多样性和稳定性进行比较，从而阐明三者

间的内在联系。

八仙山国家级自然保护区位于燕山南麓，华北北部，植被茂盛，是京津冀地区重要的生态屏障（丛明旸等，2013）。该地区历史上曾作为皇家陵寝经过近 300 余年的封禁，后经战争和人为破坏，形成残败次生林。建国后，设置国有林场，经过多年的封育，植被得到恢复，现保存有华北地区少见的原始森林特性的天然次生林（池建等，2007；于晓文等，2015）。以往在对群落特征的研究中，原生群落较少或次生群落恢复时间较短，而八仙山国家自然保护区封育时间长，且处于暖温带向温带以及第 2 阶梯向第 3 阶梯过渡区域，具有一定的代表性。因此，本研究选择该保护区内典型油松林（*Pinus tabuliformis*）、油松—栓皮栎（*Quercus variabilis*）混交林以及蒙古栎（*Quercus mongolica*）林 3 种典型天然次生林群落建立样地，调查主要建群种径级结构和更新潜力，分析群落多样性和稳定性的变化规律，在主成分分析的基础上对群落结构和功能进行评价，以期探明燕山南麓主要森林类型的群落学特征，对该地区森林生态系统的保护与重建提供理论参考。

1 研究区概况

研究区位于天津市北部与河北省交界处，燕山山脉南麓低山丘陵区， 位于 117°30′—117°36′E、40°10′—40°14′N 之间，属暖温带半湿润大陆性季风气候。年平均气温 10.1 ℃，年降水量 970 mm，年积温 4 153 ℃，无霜期 105 d。土壤为山地森林褐色土，枯枝落叶层较厚，呈酸性。调查区植被资源中针叶树以油松为主，少见侧柏（*Platycladus orientalis*），落叶阔叶树种主要有蒙古栎、栓皮栎、槲栎（*Quercus aliena*）、槲树（*Quercus dentata*）以及山杨（*Populus davidiana*）、糠椴（*Tilia mandshurica*）、大叶朴（*Celtis koraiensis*）、大果榆（*Ulmus macrocarpa*）、大叶白蜡（*Fraxinus rhynchophylla*）、鹅耳枥（*Carpinus turczaninowii*）、核桃楸（*Juglans mandshurica*）、栾树（*Koelreuteria paniculata*）和黄栌（*Cotinus coggygria*）等杂木。林下灌木有荆条（*Vitex negundo*）、扁担杆（*Grewia biloba*）、小花溲疏（*Deutzia scabra*）、三裂绣线菊（*Spiraea trilobata*）、东陵八仙花（*Hydrangea bretschneideri*）等。草本层有苔草（*Carex tristachya*）、尾叶香茶菜（*Rabdosia excisa*）、唐松草（*Thalictrum aquilegifolium*）、求米草（*Oplismenus undulatifolius*）、鸡腿堇菜（*Viola acuminata*）、大叶铁线莲（*Clematis heracleifolia*）等。

2 研究方法

2.1 样地设置

野外调查于 2016 年 6 月—7 月进行。在前期踏查的基础上，根据林分中树种蓄积量（以胸高断面积替代）占比，划分为油松林、油松—栓皮栎以及蒙古栎林 3 种群落类型，每种群

落类型设置 20 m ×20 m 样地 3 块，共 9 块。记录经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位、土壤性质等样地信息（如表 1 所示）。每块样地内沿对角线设置 5 m ×5 m 的灌木调查样方 5 个，设置 1 m ×1m 草本调查样方 5 个。

表 1 样地基本信息

Table 1 Information of sample plots

群落名称 Community	油松林 *P. tabulaeformis* forest (PF)	松栎混交林 Mixed *P. tabulaeformis* and *Q. variabilis* forest (MPQF)	蒙古栎林 *Q. mongolica* forest (QF)
林龄 Forest age (a)	60	60	60
样地数 Plot number (个)	3	3	3
树种组成 Tree composition	9 松 1 杂-栎 9Pine1Weed-Oak	4 松 3 栎 1 朴 2 杂 4Pine3Oak1Celtis2Weed	8 栎 1 松 1 杂 8Oak1Pine1Weed
经度 Longitude	117°34'6"—117°34'4"E	117°34'15"— 117°34'20"E	117°34'6"— 117°34'02"E
纬度 Latitude	40°11'43"— 40°11'41"N	40°12'00"— 40°12'03"N	40°11'59"— 40°12'01"N
坡向 Slop aspect	西北 Northwest	西南 Southwest	东南 Southeast
坡位 Slope position	中坡 Middle slope	中坡 Middle slope	上坡 Upper slope
坡度 Slope degree (º)	17~20	16~22	23~27
海拔 Altitude (m)	650~680	520~526	700~716
平均胸径 Average DBH (cm)	18.81±1.31a	15.95±0.94b	16.52±0.63b
平均树高 Average height (m)	15.57±3.85a	13.34±2.04a	14.08±2.67a
林分密度 Forest density (株·hm^2)	2300±35a	2225±88a	2175±123a
郁闭度 Canopy density (%)	92±8.5a	89±5.7a	85±6.4a
土壤类型 Soil classification	淋溶褐土 Eluvial cinnamon soil	淋溶褐土 Eluvial cinnamon soil	淋溶褐土 Eluvial cinnamon soil
土层厚度 Soil depth (cm)	21~36	25~34	20~33

注：在 P <0.05 水平上分析，不同字母表示不同群落差异显著。

Note: The different letters indicate the significant difference among communities at P <0.05.

2.2 群落结构调查

对乔木样方进行每木检尺，记录树高、胸径、冠幅以及坐标位置；对灌草样方调查，记录灌木和草本的物种种类、数量、平均高度、冠幅、基径和频度（董鸣，1997）。将油松、蒙古栎、栓皮栎和其他杂木树种分别按胸径大小以 5 cm 为径阶距，共划分 9 个径级，即I级为幼苗、幼树（DBH≤5 cm）、II级（5<DBH≤10 cm）、III级（10<DBH≤15 cm）、IV级（15<DBH≤20 cm）、V级（20<DBH≤25 cm）、VI级（25<DBH≤30 cm）、VII（30<DBH≤35 cm）、VIII（35<DBH≤40 cm）、IX（DBH>40 cm）。种群更新潜力采用幼苗、幼树个体数与成年（DBH>5 cm）个体数之比表示（张梦弢等，2015）。

2.3 群落α多样性计算

群落 α 多样性指标中物种丰富度采用 Margalef 指数，多样性采用 Shannon—Wiener 指

数和 Simpson 指数，均匀度采用 Alatalo 指数表示（马克平和刘玉明，1994；张相锋等，2009）。具体计算方法如下。

乔木重要值：$IV_i = \frac{RA+RF+RP}{3} \times 100$；

灌草重要值：$IV_i = \frac{RA+RF+RC}{3} \times 100$；

Margalef 指数（I_{ma}）：$I_{ma} = \frac{(S-1)}{\ln N}$；

Shannon—Wiener 指数计算公式：$I_{sw} = -\sum p_i \times \ln p_i$；

Simpson 指数计算公式：

$$D = 1 - \sum p_i^2 ;$$

Alatalo 均匀度指数计算公式：

$$E = \frac{(\sum p_i^2)^{-1} - 1}{\exp(-\sum p_i \log(p_i)) - 1} ;$$

式中，IV_i 指样方中第 i 种物种的重要值；RA 为相对多度，RF 为相对频度，RP 为相对显著度，RP 为相对盖度；S 指样方中物种的种数；N 为所有物种个体数之和；$P_i=IV_i/\sum IV_i$，指物种 i 的相对重要值。

分别计算乔木层、灌木层和草本层各自α多样性指标后，采用加权平均的方法计算群落总体多样性。根据张峰等（2002）方法，分别赋予乔木层、灌木层、草本层的经验权重系数为 0.5、0.25、0.25。

2.4 改进 M.Godron 稳定性测定方法

M.Godron 稳定性测定方法由植物群落中所有种类的数量和这些种类的频度进行计算（Godron et al., 1971）。郑元润（2000）在此基础上，使 M.Godron 稳定性测定方法定量化。首先将所研究群落中的不同种植物的频度测定值按从大到小的顺序排列，计算相对频度并按顺序累积，再取整个群落内植物种类的总和的倒数，计算累积值。植物种类的百分数和累积相对频度一一对应，画出散点图，根据公式 $y=ax^2+bx+c$ 拟合出平滑曲线模型，并计算与直线（$y = 100 - x$）的交点坐标。以 20/80 这一点为群落的稳定点，树种百分数与累积相对频度比值越接近该点群落就越稳定。

2.5 数据处理

对不同森林群落各 α 多样性指标进行单因素方差分析（One-way ANOVA，Duncan's test，$P<0.05$），采用SPSS 18.0软件进行数据分析，Sigmaplot 10.0绘图。

采用 CANOCO 5.0 进行主成分分析并绘制 PCA 双序图（赖江山，2013）。先对种群更

新潜力、群落多样性指标以及 M.Godron 稳定性指标进行中心化和标准化，再计算特征根和特征向量，以前 2 个主分量为坐标作图，图中向量夹角余弦值表示各因子间相关性，所处象限表示与主分量的作用方向，向量定点到坐标轴的投影距离表示对该主分量贡献（Leps & Smilauer, 2003）。

3 结果与分析

3.1 群落物种组成及种群更新潜力分析

由表 2 可知，3 种森林群落中各层次的优势种及其重要值有所差别。油松林中乔木树种除油松外，散生山杨、大叶白蜡、糠椴、大果榆等杂木，灌草层优势种分别为荆条和求米草；松栎混交林中油松和栓皮栎同为乔林层优势树种，且有大叶朴、糠椴、槲树等杂木，而灌草层优势种分别为多花胡枝子和苔草；蒙古栎林乔林层除蒙古栎外，还分布槲栎、大叶白蜡、鹅耳枥等阔叶树种以及针叶树种油松，灌草层优势种分别为扁担杆和圆叶堇菜。

表 2 不同森林群落各层次物种组成及其重要值（仅列前 5）

Table 2 Species components and importance values at three levels of different forest communities (the top five species)

层次 Layer	油松林 PF		松栎混交林 MPQF		蒙古栎林 QF	
	物种 Species	重要值 *IV*	物种 Species	重要值 *IV*	物种 Species	重要值 *IV*
乔木层 Arbor layer	油松 *Pinus tabuliformis*	57.27	油松 *Pinus tabuliformis*	33.31	蒙古栎 *Quercus mongolica*	52.01
	山杨 *Populus davidiana*	21.52	栓皮栎 *Quercus variabilis*	33.09	槲栎 *Quercus aliena*	39.14
	大叶白蜡 *Fraxinus rhynchophylla*	17.47	大叶朴 *Celtis koraiensis*	32.79	油松 *Pinus tabuliformis*	24.47
	糠椴 *Tilia mandshurica*	14.46	糠椴 *Tilia mandshurica*	19.19	大叶白蜡 *Fraxinus rhynchophylla*	8.21
	大果榆 *Ulmus macrocarpa*	13.52	槲树 *Quercus dentata*	7.35	鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*	6.01
灌木层 Shrub layer	荆条 *Vitex negundo*	115.38	多花胡枝子 *Lespedeza floribunda*	42.62	扁担杆 *Grewia biloba*	31.70
	大花溲疏 *Deutzia grandiflora*	20.73	叶底珠 *Flueggea suffruticosa*	41.91	叶底珠 *Flueggea suffruticosa*	18.72
	三裂绣线菊 *Spiraea trilobata*	17.50	荆条 *Vitex negundo*	19.86	蛇葡萄 *Ampelopsis sinica*	18.19
	鼠李 *Rhamnus davurica*	12.74	东陵八仙花 *Hydrangea bretschneideri*	18.04	小花溲疏 *Deutzia scabra*	14.87
	吴茱萸 *Tetradium ruticarpum*	8.22	鸡爪槭 *Acer palmatum*	16.19	迎红杜鹃 *Rhododendron mucronulatum*	13.74
	求米草 *Oplismenus undulatifolius*	30.17	苔草 *Carex tristachya*	19.92	圆叶堇菜 *Viola pseudo-bambusetorum*	31.70

草本层 Herb layer	苔草 *Carex tristachya*	18.11	蝙蝠葛 *Menispermum dauricum*	19.69	败酱 *Patrinia scabiosaefolia*	18.19
	铁线莲 *Clematis heracleifolia*	17.67	穿龙薯蓣 *Discorea nipponica*	19.09	银背风毛菊 *Saussurea nivea*	18.72
	唐松草 *Thalictrum aquilegifolium*	13.94	黄花蒿 *Artemisia annua*	17.09	紫菀 *Aster tataricus*	14.87
	尾叶香茶菜 *Rabdosia excisa*	8.56	鸡腿堇菜 *Viola acuminata*	7.6	鸢尾 *Iris tectorum*	5.8

建群种是指优势层的优势种，对群落结构和环境的形成起决定作用。由图 1 可以看出，3 种森林群落的建群种的径级结构差异较大。其中，油松林中 DBH>5 cm 的油松径级结构近似正态分布，种群规模处于稳定期，但缺少幼苗幼树（DBH≤5 cm）补充，更新乏力。在松栎混交林中，栓皮栎和杂木径级结构呈典型的反“J”型趋势，即小径级的林木个体数量较多，随着径级的增加数量逐渐减少。在蒙古栎林中，蒙古栎成年个体的径级结构分布集中，IV级个体数占成年总数的 76%。在 3 种森林群落中，均未发现油松幼苗和幼树。在松栎混交林群落中杂木的幼苗、幼树数量最多，幼/成比为 3.12， 其次为蒙古栎林幼/成比 2.61，而油松林中幼苗、幼树个体最少，幼/成比仅 0.36。

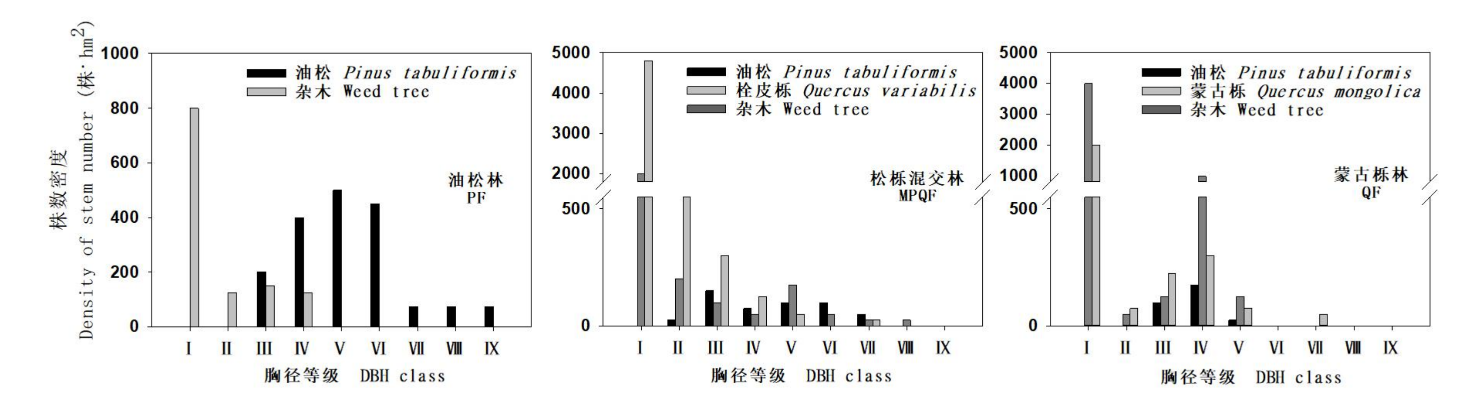


图 1 不同森林群落建群种种群径级结构

Fig. 1 DBH class structure of constructive species in different forest communities

3.2 群落α多样性分析

α多样性特征是反映群落结构和功能复杂程度的重要指标，包括丰富度、多样性和均匀度三个方面的测度。由表 3 可知，3 种林分群落的α多样性指标间存在一定差异。其中，在乔木层中，松栎混交林中物种丰富度 Margalef 指数、Shannon—Wiener 多样性指数和 Alatalo 均匀度指数均最大，而 Margalef 指数和 Alatalo 指数最小值出现在油松林，Shannon—Wiener 指数最小值出现在蒙古栎林，且与松栎混交林差异显著；Simpson 指数在不同群落间无显著差异。在灌木层中，物种丰富度最大的是油松林，其次为蒙古栎林，松栎混交林最小；Simpson

指数以及 Alatalo 指数的最低值均出现在油松林，Shannon—Wiener 指数最低值出现在松栎混交林，而 3 指标无显著差异。在草本层中，Alatalo 指数最大值出现在松栎混交林中，其余指标最大值均出现在蒙古栎林。

表 3 不同森林群落各层次多样性指标

Table 3 Diversity indexes at three levels of different forest communities

层次 Layer	群落 Communities	I_{ma}	I_{sw}	D	E
乔木层 Arbor layer	油松林 PF	1.83±0.05b	1.81±0.43ab	0.87±0.03a	1.05±0.09b
	松栎混交林 MPQF	2.15±0.05a	2.07±0.32a	0.88±0.02a	2.09±0.16a
	蒙古栎林 QF	1.95±0.11ab	1.66±0.19b	0.87±0.05a	1.81±0.12ab
灌木层 Shrub layer	油松林 PF	2.67±0.09a	1.41±0.38a	0.64±0.12a	0.86±0.11a
	松栎混交林 MPQF	0.88±0.10c	1.14±0.27a	0.86±0.09a	0.88±0.07a
	蒙古栎林 QF	1.96±0.06b	1.56±0.22a	0.82±0.13a	0.89±0.03a
草本层 Herb layer	油松林 PF	1.57±0.07b	1.13±0.12a	0.59±0.05a	0.71±0.13a
	松栎混交林 MPQF	1.65±0.08ab	1.14±0.18a	0.58±0.11a	0.87±0.13a
	蒙古栎林 QF	1.93±0.12a	1.30±0.16a	0.69±0.06a	0.68±0.12a
加权平均值 Weighted means	油松林 PF	1.97±0.09a	1.55±0.12a	0.74±0.06a	0.91±0.07b
	松栎混交林 MPQF	1.71±0.11b	1.61±0.17a	0.80±0.11a	1.48±0.13a
	蒙古栎林 QF	1.94±0.13a	1.54±0.19a	0.81±0.05a	1.29±0.15ab

注：在 $P<0.05$ 水平上分析，不同字母表示不同群落差异显著。

Note: The different letters indicate the significant difference among communities at $P<0.05$.

不同层次多样性指数加权后得到群落总体平均值。其中，松栎混交林群落总体 Margalef 指数最低，而油松林和蒙古栎林无差异。群落总体的 Shannon—Wiener 指数和 Simpson 多样性指数在不同类型林分间无显著差异，而 Alatalo 指数最大值出现在松栎混交林，且与油松林存在显著差异。

3.3 M.Godron 稳定性分析

对 3 种群落的总种数倒数累积和相对应的累积相对频度 2 个数值的散点图进行平滑曲线模拟，所得结果如表 3 所示。曲线相关系数 R^2 均高于 0.95，方程显著性检验结果表明回归方程呈极显著（$P<0.01$），表明拟合效果较好。3 种群落的曲线与直线 $y=100-x$ 的交点坐标均偏离稳定点 20/80。由图 2 可知，3 种森林群落均处于不稳定状态，而与稳定点欧式距离最近的是蒙古栎林 19.86，其次为松栎混交林 20.59，而油松林最远为 20.96。

表 4 不同森林群落 M.Godron 稳定性分析结果

Table 4 M.Godron stability analysis of different forest communities

群落 Community	曲线类型 Curve Type	相关系数 Relevant Coefficient (R^2)	*P* 值 *P* value	交点坐标 Coordinate of Crossing Point （X/Y）	结果 Result
油松林 PF	$y=-1.4901x^2+2.3903x$	0.9533	*P*＜0.01	34.82/65.17	不稳定 Unstabitily
松栎混交林 MPQF	$y=-1.4686x^2+2.401x$	0.9856	*P*＜0.01	34.56/65.43	不稳定 Unstabitily
蒙古栎林 QF	$y=-1.5384x^2+2.461x$	0.9666	*P*＜0.01	34.04/65.95	不稳定 Unstabitily

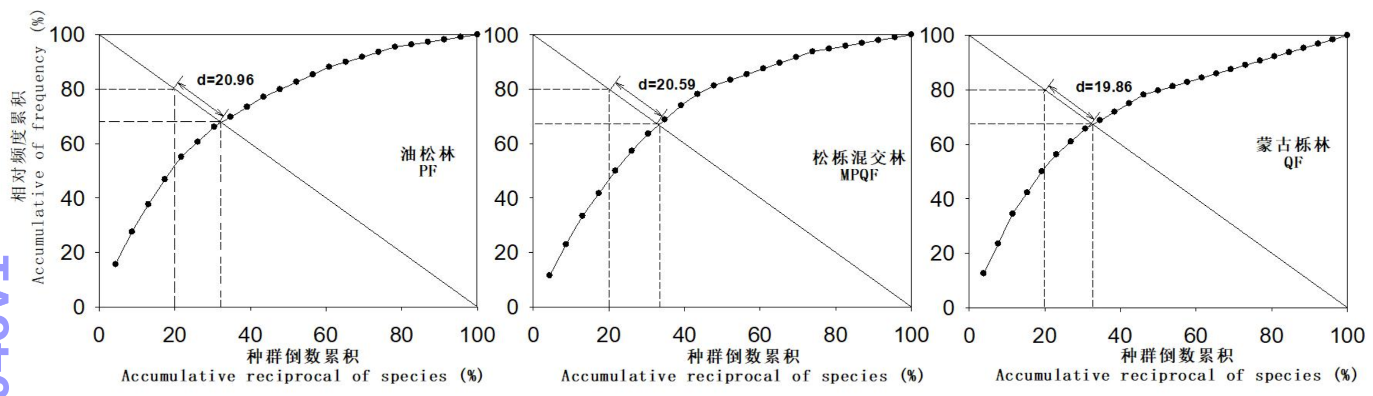


图 2 不同森林群落 M.Godron 稳定性拟合曲线

Fig. 2 M.Godron stability simulated curves of different forest communities

3.4 群落特征主成分分析

对描述群落特征的 6 项因子进行主成分分析，其中种群更新潜力采用幼成比表示，而 M.Godron 稳定性采用测定值与 20 / 80 稳定点的欧式距离的倒数作为评价指标。图中向量的夹角表示因子间的相关性，其中种群的更新潜力和 Alatalo 指数与 M.Godron 稳定性呈较强正相关性，说明建群种的更新能力和物种组成的均匀度对群落的稳定性具有决定作用。6 项指标降维后，前 2 个主分量对总体方差的贡献率 87.7%，能够反映群落演替进程中的主要信息。其中，种群更新潜力、M.Godron 稳定性和 Alatalo 指数在第 1 主分量的因子载荷值较高，分别为 0.997、0.904 和 0.876，而 Margalef 指数、Shannon—Wiener 指数和 Simpson 指数在第 2 主分量的因子载荷值较高，分别为 0.840、0.943 和 0.727。由图 3 可知，所调查的松栎混交林样地均分布在第 1 象限，说明该群落综合表现优于油松林和蒙古栎林群落。

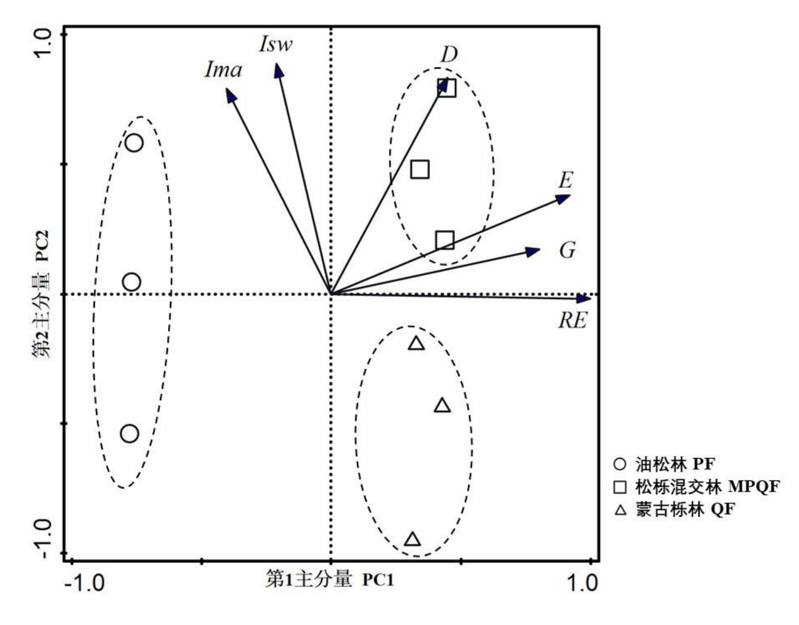


图 3 不同森林群落特征 PCA 双序图

Fig. 3 PCA biplot of different forest communities' characteristics

注：图中大写字母 *RE*=种群更新潜力；*G*=M.Godron 稳定性；I_{ma}=Margalef 指数；I_{sw}=Shannon—Wiener 指数；*D*=Simpson 指数；E=Alatalo 均匀度指数。

Note：The capital letter *RE* means the ability of population regeneration. *G* means M.Godron community stability. I_{ma} means Margalef index. I_{sw} means Shannon—Wiener index. *D* means Simpson index. E means Alatalo index.

4 讨论与结论

植物群落是物种的载体，其差异性是由组成的物种种类和结构所决定的（俞月凤等，2019）。在本研究中，油松成年个体径级结构近似正态分布，说明该种群当前处于成熟状态（王燕等，2017）。然而，调查发现油松幼苗幼树较少，后期更新乏力，这可能是由于油松幼年喜光，其在郁闭度0.4以上的林下难以生长所致。与油松林相比，松栎混交林和蒙古栎林群落幼/成比较高，这可能与高度郁闭的环境为喜荫的阔叶树种生长提供了良好条件有关（张家城和陈力，2000）。栓皮栎、蒙古栎、槲栎等硬阔树种以及大叶朴树、大叶白蜡、糠椴等中生机会树种的幼苗幼树增多，为维持该地区阔叶林稳定性提供了充足的种苗库。这有利于组成该群落的物种保持稳定的规模，减少群落随时间的波动（Caldeira et al., 2005）。张梦弢等（2015）对长白山云冷杉（*Picea jezoensis* + *Abies nephrolepis*）混交林研究后也发现，更新潜力较大的群落其总体稳定性也较强。

植物群落α多样性反映了群落在组成、结构、功能和动态方面的差异（Ghaley & Porter, 2014）。本研究发现，松栎混交林中乔木层物种丰富度最高，而灌木层最低。这可能与部分阔叶树种进入主林层，造成 DBH≤5 cm 的林下小乔木数量减少有关。张卫强等（2014）也发现，乔林层较高的物种丰富度常伴随较低的灌木层丰富度。草本层物种丰富度和多样性指

数最低值均出现在油松林，这可能是由于油松林密度大、郁闭度高限制了林下阳性杂草的生长（王世雄等，2010）。然而，不同层次的植物对群落的贡献不相等。采用加权平均的方法计算群落总体多样性发现，松栎混交林群落物种均匀度较高，说明该群落具有更高的功能多样性（陈超等，2016）。一般认为，均匀度对群落稳定性的作用体现在提高群落受到干扰后的恢复力（Hillebrand et al., 2008）。均匀度越高，群落中每个物种的作用越大，由于投资组合效应减少群落波动的程度就越大（张景慧和黄永梅，2016）。

M.Godron 指数以群落整体特征为依据，反映了群落中种群调节、竞争以及联结的程度，被认为是一种较好的稳定性测度（郑元润，2000）。在本研究中，3 种群落的 Godron 值均偏离平衡点，说明该地区的主要森林的群落结构尚处于波动状态，极易受到干扰。同时，研究还发现不同的α多样性指数在反映稳定性水平时具有差异性。其中，Alatalo 均匀度指数与 M.Godron 稳定性指数正相关性最强，其次为 Simpson 多样性指数，而 Margalef 物种丰富度和 Shannon—Wiener 多样性指数相关性较弱。闫东锋等（2011）在对宝天曼栎林的群落总体的各多样性指数研究中也发现，表示均匀程度的 Pielou 指数与 M.Godron 稳定性呈较强正相关。该结论证实在群落遭受人为活动或环境变化的干扰时，物种均匀度比丰富度表现更加敏感（Chapin et al., 2000）。

综上所述，八仙山自然保护区的油松林、蒙古栎林以及油松—栓皮栎混交林 3 种次生林均处于不稳定状态。其中，油松更新乏力，栎类和杂木幼苗幼树较多。群落的更新潜力和物种均匀度对维持群落稳定具有重要作用。与油松林和蒙古栎林相比，松栎混交林结构和功能综合表现较好。因此，在未来该地区天然次生林经营过程中，要注保护硬阔叶树种的幼苗幼树，逐渐形成以栎类树种为主的针阔混交林。

参考文献

AN LJ, ZHU ZH, WANG XA, et al., 2007. Stability analysis of major communities in Malan forest region of Ziwuling Mountain [J]. Acta Bot Boreali-Occident Sin, 27(5): 1000-1007. [安丽娟，朱志红，王孝安，等，2007. 子午岭马栏林区主要森林群落的稳定性分析[J]. 西北植物学报，27(5)：1000-1007.]

CALDEIRA MC, HECTOR A, Loreau M, et al., 2005. Species richness，temporal variability and resistance of biomass production in a Mediterranean grassland[J]. Oikos, 110(1): 115-123.

Chapin III FS, Zavaleta ES, Eviner VT, et al., 2000. Consequences of changing biodiversity[J]. Nature, 405(6783): 234-242.

CHEN C, ZHU ZH, LI YN, et al., 2016. Effects of interspecific trait dissimilarity and species evenness on the relationship between species diversity and functional diversity in an alpine meadow [J]. Acta Ecol Sin, 36(3): 661-674. [陈超，朱志红，李英年，等，2016. 高寒草甸种间性状差异和物种均匀度对物种多样性与功能多样性关系的影响[J]. 生态学报，36(3)：661-674.]

CHI J, WANG Z, XU XJ, 2007. Study on health remote sensing monitoring of ecosystem of Baxian nature reserve in Tianjin [J]. For Inventory Planning, 32(1): 51-54. [池建，王昭，徐新疆，2007. 天津八仙山自然保护区生态系统健康遥感监测研究[J]. 林业调查规划 32(1)：51-54.]

CONG MY, SHI HP, ZHANG XK, et al., 2013. Analyses on community structure and species diversity of typical forest in Baxianshan National Natural Reserve [J]. Acta Sci Nat Univ Nankaiensis, 46(4): 44-52. [丛明旸，石会平，张小锟，等，2013. 八仙山国家级自然保护区典型森林群落结构及物种多样性研究[J]. 南开大学学报(自然科学版)，46(4)：44-52.]

DONG M. 1997. Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities [M]. Beijing: Standard Press of China. [董鸣，1997. 陆地生物群落调查观测与分析[M]. 北京：中国标准出版社.]

Ghaley BB, Porter JR, 2014. Ecosystem function and service quantification and valuation in a conventional winter wheat production system with DAISY model in Denmark [J]. Ecosyst Serv, 10: 79-83.

GODRON M, 1972. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal[J]. Stat Ecol, 3: 397-415.

HILLEBRAND H, BENNETT DM, CADOTTE MW, 2008. Consequences of dominance: a review of evenness effects on local and regional ecosystem processes[J]. Ecology, 89(6): 1510-1520.

IVES AR, CARPENTER SR, 2007. Stability and diversity of ecosystems[J]. Science, 317(5834): 58-62.

LAI JS, 2013. Canoco 5: a new version of an ecological multivariate data ordination program [J]. Biodiversity Sci, 21(6): 765-768. [赖江山，2013. 生态学多元数据排序分析软件 Canoco 5 介绍[J]. 生物多样性，21(6)：765-768.]

LEPS J, SMILAUER P, 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO [M]. New York, Cambridge University Press.

LU LL, GUO ZL, FAN CN, et al., 2018. Community characteristics and stability analysis of secondary deciduous broad-leaved forest in Mopan Mountains, Jilin Province, China[J]. Chin J Appl Ecol, 29(7): 2079-2087. [陆龙龙，郭忠玲，范春楠，等，2018. 吉林磨盘山次生落叶阔叶林群落特征和稳定性分析[J]. 应用生态学报，29(7)：2079-2087.]

MA HJ, LI RX, YUAN FY, et al., 2013. Stability of *Platycladus orientalis* mixed forest communities at different successional stages [J]. Chin J Ecol, 32(3): 558-562. [马洪婧，李瑞霞，袁发银，等，2013. 不同演替阶段栎树混交林群落稳定性[J]. 生态学杂志，32(3)：558-562.]

MA KP, LIU YM, 1994. Biological community diversity measure, α diversity measure method (II) [J]. Biodiversity Sci, 3(4): 38-43. [马克平，刘玉明，1994. 生物群落多样性的测度方法 α 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性，3(4)：38-43.]

QIN J, WANG KB, SHANG GUAN ZP, 2007. Change of plant diversity of *Populus davidiana*, *Quercus liaotungensis* and their mixed forest in Ziwuling area of Loess Plateau [J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 35(5): 131-135. [秦娟，王凯博，上官周平，2007. 子午岭林区山杨林、辽东栎林及其混交林植物多样性的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，35(5)：131-135.]

SONG QL, DONG XB, 2014. Comprehensive evaluation of forest community stability of

different types of low-quality forest stands in the Greater Higgnan Mountains [J]. Sci Silv Sin, 50(6): 10-17. [宋启亮，董希斌，2014. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价[J]. 林业科学，50(6)：10-17.]

SUN Y, XIA FC, ZHAO XH, et al., 2017. The composition and community structure of coniferous and broadleaved mixed forest species in the Zhangguangcai Mountains，China [J]. Acta Ecol Sin, 37(10): 3425-3436. [孙越，夏富才，赵秀海，等，2017. 张广才岭温带次生针阔混交林物种组成和群落结构特征[J]. 生态学报，37(10)：3425-3436.]

WANG SX, WANG XA, LI GQ, et al., 2010. Species diversity and environmental interpretation in the process of community succession in the Ziwu Mountain of Shaanxi Province[J]. Acta Ecol Sin, 30(6): 1638-1647. [王世雄，王孝安，李国庆，等，2010. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释[J]. 生态学报，30(6)：1638-1647.]

WANG Y, BI RC, XU Q, 2017. Community characteristics and spatial distribution of mixed conifer and broad-leaved forest in South Taiyue Mountain, Shanxi Province of China [J]. Guihaia, 37(7): 901-911. [王燕，毕润成，许强，2017. 山西太岳山南部针阔混交林群落特征及空间分布格局[J]. 广西植物，37(7)：901-911.]

YAN DF, ZHU Y, YANG XT, 2011. Species diversity and stability of a natural *Quercus* forest in Baotianman，Henan Province [J]. J Zhejiang A&F Univ, 28(4): 628-633. [闫东锋，朱滢，杨喜田，2011. 宝天曼栎类天然林物种多样性与稳定性[J]. 浙江农林大学学报，28(4)：628-633.]

YU XW, SONG XS, KANG FF, et al., 2015. Evaluation on the stability of typical forest communities in source region of Liaohe river in North Hebei [J]. J Arid Land Resour Environ, 29(5): 93-98. [于晓文，宋小帅，康峰峰，等，2015. 冀北辽河源典型森林群落稳定性评价[J]. 干旱区资源与环境，29(5)：93-98.]

YU YF, HE T G, DU H, et al., 2019. Changes in species composition and diversity of vegetation communities along degradation in karst area of Northwest Guanxi [J]. Guihaia, 39(2): 178-188. [俞月凤，何铁光，杜虎，等，2019. 桂西北喀斯特地区不同退化程度植被群落物种组成及多样性特征[J]. 广西植物，39(2)：178-188.]

ZHANG F, ZHANG JT, SHANGGUAN TL, 2002. Plant diversity of forest community in Zhuweigou of Lishan Mountain Nature Reserve[J]. Acta Phytoecol Sin, (S1): 46-51. [张峰，张金屯，上官铁梁，2002. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究[J]. 植物生态学报，(S1)：46-51.]

ZHANG JC, CHEN L, 2000. A study on judgment and evaluation of succession situation for forest community with several dominant tree species in subtropical zone in China [J]. Sci Silv Sin, 36(2): 116-121. [张家城，陈力，2000. 亚热带多优势种森林群落演替现状评判研究[J]. 林业科学，36(2)：116-121.]

ZHANG JH, HUANG YM, 2016. Biodiversity and stability mechanisms: understanding and future research[J]. Acta Ecol Sin, 36(13): 3859-3870. [张景慧，黄永梅，2016. 生物多样性与稳定性机制研究进展[J]. 生态学报，36(13)：3859-3870.]

ZHANG MT, ZHANG Q, KANG XG, et al., 2015. Community stability for spruce-fir forest at different succession stages in Changbai Mountains, Northeast China [J]. Chin J Appl Ecol, 26(6): 1609-1616. [张梦弢，张青，亢新刚，等，2015. 长白山云冷杉林不同演替阶段群落稳定性[J]. 应用生态学报，26(6)：1609-1616.]

ZHANG WQ, ZHANG WH, PAN W, et al., 2014. Effects of eucalypt plantation and conifer-broadleaved forest on plant biodiversity [J]. Res Soil Water Conserv, 21(6): 122-128.

[张卫强，张卫华，潘文，等，2014. 桉树林和针阔混交林对植物多样性的影响比较[J]. 水土保持研究，21(6)：122-128.]

ZHANG XF, MA C, DONG SK, et al., 2009. Influence of different ratios of herbage and shrubs on plant community characteristics for roadside deforestation and soil protection on the Bi-Tong Expressway [J]. Acta Pratacul Sin, 18(4): 27-34. [张相锋，马闯，董世魁，等，2009. 不同草灌配比对泌桐高速公路护坡植物群落特征的影响[J]. 草业学报，18(4)：27-34.]

ZHENG YR, 2000. Comparison of methods for studying stability of forest community [J]. Sci Silvae Sin, 36(5): 28-32. [郑元润，2000. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学，36(5)：28-32.]